

## ファジイ・スプライン補間法の提案と そのオンライン手書き曲線セグメンテーションへの応用

牧野宏美 佐賀聡人

株式会社テクノバ 研究開発室  
札幌市厚別区下野幌テクノパーク2丁目3番3号

あらし 本論文ではまず、部分によって変化する位置情報の曖昧さが内在する曲線を取り扱う基本的手法としてファジイ・スプライン補間法を提案する。これは、書き手の意図する理想的な曲線を必ずしも忠実に表しているとはみなされない手書き曲線の表現モデルを与えるものである。つぎに、このファジイ・スプライン補間法の一応用としてタブレットからペンにより入力された手書き曲線をストロークに対応した基本曲線区間に分割する手法を提案する。この手法は曲線の曖昧をも情報として考慮しているため粗雑に書かれた曲線にも対応することが可能となる。本手法による分割が書き手の意図をうまく反映したものとして得られることが実験的に確認される。

和文キーワード スプライン補間、ファジイ理論、ペン入力、図形認識、CAD

## Fuzzy Spline Interpolation and Its Application to On-Line Segmentation of Freehand Curves

Hiromi MAKINO and Sato SAGA

Research and Development Division  
TECNOVA Corp.

Techno Park 2-3-3, Shimonoporo, Atsubetsu-ku, Sapporo, 004 Japan

Abstract In this paper, a technique called fuzzy spline interpolation is first proposed to handle curves which involve vagueness in their positional information. This was designed as a model of a freehand curve which is not necessarily regarded as the exact copy of the ideal curve intended by the drawer. It is then applied to on-line method to divide a freehand curve, sampled from a pen and tablet system, into segments corresponding to strokes of drawing. This method handles even roughly drawn freehand curves and identifies strokes while allowing for vagueness. Experimental results show that the obtained segmentation properly reflects the intention of the drawer.

英文 key words Spline Interpolation, Fuzzy System, Pen-Computing, Pattern Recognition, CAD

# 1 まえがき

本論文では、タブレットからスタイラス・ペンによってオンライン手書き入力された曲線の幾何学的な意味を推論・認識するインターフェースを実現するための基礎技術として、ファジィ・スプライン補間法を提案する。また、その一応用として手書き曲線のファジィ・セグメンテーション法を提案する。

一般に、手書きされた曲線と書き手の意図した曲線の間にはずれがあり、書かれた曲線のサンプル・データの位置情報には本質的な曖昧さが内在していることになる。しかも、この曖昧さの程度は書き方の丁寧さによって部分的に変化するものと考えられる。ここで提案するファジィ・スプライン補間法は、この曖昧さを情報として積極的に利用するための基本技術であり、これにより曖昧な曲線の表現モデルとしてファジィ・スプライン曲線が得られる。

次に、ファジィ・スプライン曲線の一応用としてファジィ・セグメンテーション手法を提案する。これは、入力した線図形を線分・円・楕円などに対応するであろうセグメントに分割することを目的とするものである。このようなセグメントの区切りは、ストロークの停止によって表される傾向があるが、停止点は必ずしもはっきりと得られるとは限らない。そこでファジィ・スプライン曲線を用いて、書き手がどのようなセグメントで書こうとしたのか、ストロークの停止性をファジィ的に評価し、セグメントに区切る分割点あるいは分割候補点を抽出する。このファジィ・セグメンテーション手法は線図形の幾何学的形状を推論・認識するファジィ同定法の前処理に活用することが可能である。

## 2 ファジィ・スプライン補間法

ここで提案するファジィ・スプライン補間法は、通常のスプライン補間法をファジィ理論の拡張原理に基づいて拡張することで定義される。まず、平面上の曖昧な2次元ベクトルの表現モデルとして円錐型メンバシップ関数を持つファジィ・ベクトルを導入し、拡張原理に基づいて線形結合を導く。次に、ファジィ・スプライン曲線の定義を行い、補間したい点列が与えられた時、その点を通るようなファジィ・スプライン曲線を求める手法を導く。

### 2.1 ファジィ・ベクトルモデルとその線形結合

はじめに2次元ベクトルのファジィ・モデルとして図1の円錐型ファジィ・ベクトル・モデルを提案し、そのメンバシップ関数を定義する。次に、円錐型ファジィ・ベクトルの線形結合をファジィ理論の拡張原理に基づいて

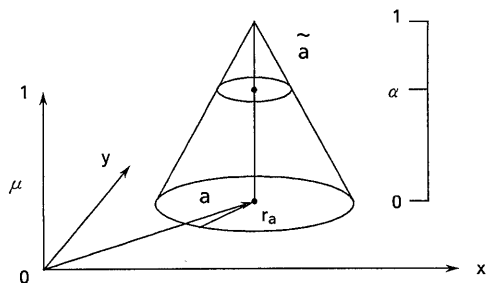


図 1: 円錐型ファジィ・ベクトルのメンバシップ関数

導出する。

#### 2.1.1 メンバシップ関数

平面上のファジィ・ベクトル  $\tilde{a}$  を、円錐の頂点の位置を表すベクトル  $\mathbf{a}$  と円錐の底円の半径  $r_a$  を用いて

$$\tilde{a} = \langle \mathbf{a}, r_a \rangle \quad (1)$$

と表記する。このとき  $\tilde{a}$  のメンバシップ関数は、平面上の任意の変数ベクトル  $\mathbf{v}$  に対して

$$\mu_{\tilde{a}}(\mathbf{v}) = \left(1 - \frac{\|\mathbf{v} - \mathbf{a}\|}{r_a}\right) \vee 0 \quad (2)$$

となる。これは、一般に使用される1次元の対称三角ファジィ数モデルの直接的な拡張となっている。

#### 2.1.2 線形結合

ベクトル  $\mathbf{v}$  を、長さ  $R_v$  と  $x$  軸からの角度  $\theta_v$  を用いて  $R_v \exp(j\theta_v)$  と表現することにすれば ( $j$  は虚数単位)、任意のファジィ・ベクトル  $\tilde{a}$  と  $\tilde{b}$  の  $\alpha$ -レベル集合  $\tilde{a}^\alpha$  と  $\tilde{b}^\alpha$  は

$$\tilde{a}^\alpha = \{\mathbf{a} + R_a(1 - \alpha)r_a \exp(j\theta_a) \mid 0 \leq R_a \leq 1, 0 \leq \theta_a < 2\pi\} \quad (3)$$

$$\tilde{b}^\alpha = \{\mathbf{b} + R_b(1 - \alpha)r_b \exp(j\theta_b) \mid 0 \leq R_b \leq 1, 0 \leq \theta_b < 2\pi\} \quad (4)$$

となる。ここで拡張原理に基づけば、 $\tilde{a}$  と  $\tilde{b}$  の演算結果  $\tilde{a} + \tilde{b}$  の  $\alpha$ -レベル集合はそれぞれの  $\alpha$ -レベル集合の演算結果となるから、

$$\begin{aligned} (\tilde{a} + \tilde{b})^\alpha &= \tilde{a}^\alpha + \tilde{b}^\alpha \\ &= \{(\mathbf{a} + \mathbf{b})\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +(1-\alpha)(R_a r_a \exp(j\theta_a) + R_b r_b \exp(j\theta_b)) \\
& \quad |0 \leq R_a \leq 1, 0 \leq \theta_a < 2\pi, \\
& \quad \quad 0 \leq R_b \leq 1, 0 \leq \theta_b < 2\pi\} \\
= & \{(\mathbf{a} + \mathbf{b}) + R(1-\alpha)(r_a + r_b) \exp(j\theta)\} \\
& \quad |0 \leq 1, 0 \leq \theta < 2\pi\} \\
= & \langle (\mathbf{a} + \mathbf{b}), (r_a + r_b) \rangle^\alpha \quad (5)
\end{aligned}$$

となる。これよりファジイ・ベクトル  $\tilde{\mathbf{a}}$  と  $\tilde{\mathbf{b}}$  との和は、

$$\tilde{\mathbf{a}} + \tilde{\mathbf{b}} = \langle (\mathbf{a} + \mathbf{b}), (r_a + r_b) \rangle \quad (6)$$

となる。また同様にクリスプな正のスカラー量  $k$  に対して

$$k\tilde{\mathbf{a}} = \langle (k\mathbf{a}), (kr_a) \rangle \quad (7)$$

となる。ゆえに式(6)および(7)から、円錐型ファジイ・ベクトルの線形結合は

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n k_i \tilde{\mathbf{d}}_i &= \sum_{i=1}^n k_i \langle \mathbf{d}_i, r_{d_i} \rangle \\
&= \left\langle \sum_{i=1}^n k_i \mathbf{d}_i, \sum_{i=1}^n k_i r_{d_i} \right\rangle \quad (8)
\end{aligned}$$

となる。

## 2.2 ファジイ・スプライン曲線

区間  $[u_{n-1}, u_{n+L-1}]$  に定義されるパラメータ  $u$  上のスプライン曲線  $s^n(u)$  は、制御多角形  $\mathbf{d}_0, \dots, \mathbf{d}_{L+n-1}$  が与えられている時、

$$s^n(u) = \sum_{i=0}^{L+n-1} \mathbf{d}_i N_i^n(u) \quad (9)$$

と定義される。ここで、 $N_i^n(u)$  は節点系列  $u_{i-1}, \dots, u_{i+n}$  上で定義されている  $n$  次の正規化  $B$  スプライン関数を表わしている。

本論文では、式(9)で用いられている制御多角形  $\mathbf{d}_0, \dots, \mathbf{d}_{L+n-1}$  を、前述のファジイ・ベクトルによって表されるファジイ制御多角形  $\tilde{\mathbf{d}}_0, \dots, \tilde{\mathbf{d}}_{L+n-1}$  におきかえることによって、ファジイ・スプライン曲線を通常のスプライン曲線の拡張として定義する。すなわち、ファジイ制御多角形

$$\tilde{\mathbf{d}}_i = \langle \mathbf{d}_i, r_{d_i} \rangle \quad \text{for } i = 0, \dots, L+n-1 \quad (10)$$

を与え、 $n$  次ファジイ・スプライン曲線を

$$\tilde{s}^n(u) = \sum_{i=0}^{L+n-1} \tilde{\mathbf{d}}_i N_i^n(u) \quad (11)$$

と定義する。式(11)により定義されたスプライン曲線はファジイ・ベクトルの線形結合であり、式(8)により

$$\tilde{s}^n(u)$$

$$= \left\langle \sum_{i=0}^{L+n-1} \mathbf{d}_i N_i^n(u), \sum_{i=0}^{L+n-1} r_{d_i} N_i^n(u) \right\rangle \quad (12)$$

となる。

式(12)は、ある  $u$  を与えて決まるファジイ・スプライン曲線上の点  $\tilde{s}^n(u)$  が、円錐型ファジイ・ベクトル・モデルで表されることを示している。また、式(12)の2つの要素はそれぞれ  $\mathbf{d}_i$  と  $r_{d_i}$  を制御多角形とするスプライン曲線となっているから、ファジイ・スプライン曲線の評価は通常の *deBoor* アルゴリズムを3回繰り返すことにより実現される。

## 2.3 ファジイ・スプライン曲線による補間

ここまでの議論により、ファジイ・スプライン曲線は通常のスプライン曲線の拡張として定義されることを示した。ここで、補間したい点が図形平面上にファジイ位置ベクトルによってファジイ点列  $\tilde{\mathbf{p}}_i$  ( $i = 0, \dots, L+n-1$ ) として与えられたとき、これらの点を通るファジイ・スプライン曲線は、ファジイ制御多角形を  $\tilde{\mathbf{d}}_0, \dots, \tilde{\mathbf{d}}_{L+n-1}$  とするとき、

$$\tilde{\mathbf{P}} = \mathbf{N} \tilde{\mathbf{D}} \quad (13)$$

を  $\tilde{\mathbf{D}}$  について解けば得られる。

ここで、 $m = L+n-1$  とし、 $s_i$  を  $\tilde{\mathbf{p}}_i$  に対応する  $u$  の値とすれば、

$$\tilde{\mathbf{D}} = [\tilde{\mathbf{d}}_0 \tilde{\mathbf{d}}_1 \dots \tilde{\mathbf{d}}_m]^t \quad (14)$$

$$\tilde{\mathbf{P}} = [\tilde{\mathbf{p}}_0 \tilde{\mathbf{p}}_1 \dots \tilde{\mathbf{p}}_m]^t \quad (15)$$

$\mathbf{N} =$

$$\begin{bmatrix}
N_0^n(s_0) & N_1^n(s_0) & \dots & N_m^n(s_0) \\
N_0^n(s_1) & N_1^n(s_1) & \dots & N_m^n(s_1) \\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
N_0^n(s_m) & N_1^n(s_m) & \dots & N_m^n(s_m)
\end{bmatrix} \quad (16)$$

である。\*

式(13)は3重の線形システムとなっており、通常のスプライン補間の拡張ということができる。

図2に、ファジイ・サンプル点列を3次ファジイ・スプライン曲線で補間した例を示す。ここでは、(a)のような通常のサンプル点列のかわりに円錐型ファジイ・ベクトルモデルで表現した(b)のファジイ・サンプル点列が与えられたものとする。ファジイ・スプライン補間法を用い、式(14)から式(16)のそれぞれの値を求め、式(13)

\* 始終端で速度、加速度が共に0であると仮定した場合であり、 $\tilde{\mathbf{p}}_i$  には付加節点が含まれているものとする。別の終端条件にすれば、通常のスプライン曲線と同様に式(15)、式(16)は若干変形される。

を解くことによってファジィ制御多角形 (c) が求められることになる。次に、*deBoor*アルゴリズムによってファジィ・スプライン曲線を評価すると (d) が得られる。

ここで、図の円はそれぞれ円錐型メンバシップ関数の底円を示している。

### 3 手書き曲線のファジィ・セグメンテーション

本節では、ファジィ・スプライン曲線の一応用として、手書き入力した線図形を線分・円・楕円などの基本曲線に対応するであろうセグメントに区切る分割点をファジィ的に抽出するファジィ・セグメンテーション手法を提案する。

一般に、セグメントはストロークに対応し、セグメントの区切りはストロークの停止点として検出されると考えられるが、必ずしも完全に停止していない場合がある。そこで、この曖昧な停止性を考慮し、ファジィ・スプライン補間法から得られる各評価点の停止性をファジィ的に評価して、手書き曲線を基本曲線ごとのセグメントに区切る分割点を抽出する。まず、文献 [1] に基づき、可能性測度、必然性測度によって各評価点が一定時間停止している可能性と必然性を評価し、各評価点の停止性を区間真理値を用いて表す。次に、これを量子化してそれぞれの評価点にラベルをつけ、これらのラベル付けした評価点から停止点または停止候補点の存在する範囲を抽出し、更にこの範囲の中から代表点の一つを選んで分割点または分割候補点とする。

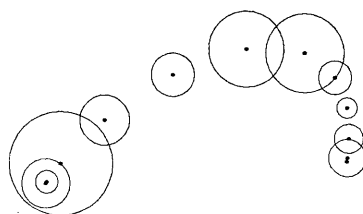
以下の手法のように、停止性の曖昧さを考慮した評価によってセグメンテーションを行うことにより、書き手がはっきりと意図的に区切って書いたところは確定的な分割点として、そうでない部分については分割候補点として提示することが可能となる。また、このファジィ・セグメンテーション手法は、入力した線図形の幾何学的形状を推論・認識するファジィ同定法の前処理として活用することができる。

#### 3.1 サンプル点列のファジィ・スプライン補間

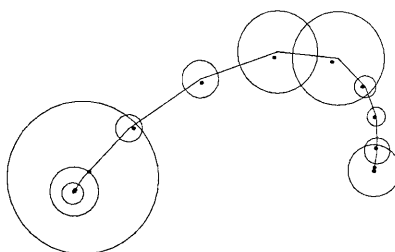
手書きによって等時間間隔でサンプリングされた点列  $p_i$  と書き手が意図した線図形の理想的な位置との間にはずれがある。一般に、曲線が適当に書かれるほどその位置情報が曖昧になると考えられることに着目し、丁寧に書いた所は曖昧さが小さく、そうでない所は曖昧さが大きくなるような位置情報をサンプル点列に持たせる。その簡単な方法として、それぞれのサンプル点が加速度に比例する曖昧さを位置情報に含んでいると仮定する。

すなわち、点列  $p_i$  をスプライン補間して得た 3 次ス

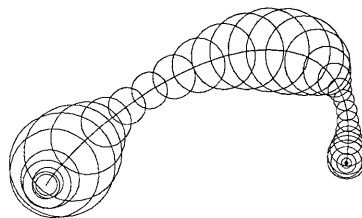
(a) 通常のサンプル点列



(b) ファジィ・サンプル点列



(c) サンプル点とファジィ制御多角形



(d) ファジィ・スプライン曲線

図 2: 3 次ファジィ・スプライン曲線による、サンプル点列の補間例

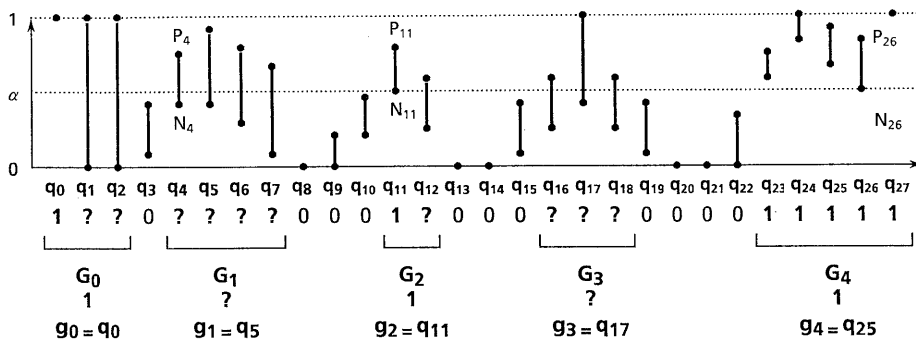


図 3: 入力曲線の各評価点のラベリング

プライン曲線、ある  $p_i$  において二階微分した値をもって  $p_i$  における加速度とし、 $p_i$  に比例した値を  $r_{p_i}$  と設定して  $\tilde{p}_i = \langle p_i, r_{p_i} \rangle$  で  $p_i$  の位置情報を表す。

次に、加速度に基づく位置情報の曖昧さを含んだこれらのファジィ・サンプル点列  $\tilde{p}_i$  を、前述のファジィ・スプライン曲線を用いて補間した後、もとのサンプル点列よりも短い間隔:  $t_u$  で評価したファジィ点列  $\tilde{q}_i$  を求める。

### 3.2 区間真理値による停止性の評価

それぞれの評価点  $\tilde{q}_i$  での停止性を式 (17)、式 (18) で定義される区間真理値  $[N_i, P_i]$  で評価する。

$$N_i \stackrel{\text{def}}{=} \inf_{\mathbf{v}} ((1 - \mu_{\tilde{q}_i}(\mathbf{v})) \vee \mu_{\tilde{q}_{i-k}}(\mathbf{v})) \quad (17)$$

$$P_i \stackrel{\text{def}}{=} \sup_{\mathbf{v}} (\mu_{\tilde{q}_i}(\mathbf{v}) \wedge \mu_{\tilde{q}_{i-k}}(\mathbf{v})) \quad (18)$$

これは、点がある一定の停止判定時間停止している可能性と必然性に基づいて  $\tilde{q}_i$  での停止性を評価することを意味している。

つまり、このように定義された区間真理値  $[N_i, P_i]$  は命題「 $\tilde{q}_i$  は  $\tilde{q}_{i-k}$  である」の可能性と必然性を示しており、この命題は「評価点  $\tilde{q}_i$  はある一定時間  $kt_u$  前の評価点  $\tilde{q}_{i-k}$  と一致する。」と解釈される。

このように停止性の評価を行うと、点  $\tilde{q}_0$  から  $\tilde{q}_{k-1}$  の間の点の区間真理値は計算できないことになる。そこで、線図形の両端は停止している状態にあると仮定し、両端には必ず停止点が現れるよう、開始点  $\tilde{q}_0$  および終了点  $\tilde{q}_n$  の区間真理値  $[N_i, P_i]$  を  $[1, 1]$  とする。また、開始点以降の停止判定時間までの点  $\tilde{q}_1, \dots, \tilde{q}_{k-1}$  は停止しているかどうかかわからないとし、区間真理値は  $[0, 1]$  とする。

### 3.3 ファジィ・セグメンテーション

次に、区間真理値によって評価された各評価点の停止性を用い、ストロークの区切れを分割点として、ストロークの区切れであるかどうか確定できない点を分割候補点として抽出する。

まず、区間真理値を量子化してそれぞれの評価点にラベルをつける。次に、これらのラベル付けした評価点から停止点または停止候補点の存在する範囲を抽出し、この範囲の中から代表点の一つ選んで分割点または分割候補点とする。

#### 3.3.1 評価点のラベリング

文献 [4] に基づいて、任意の実数  $\alpha \in [0, 1]$  をしきい値として与え、区間真理値  $[N_i, P_i]$  を量子化し、“1(真)”、“?(不定)”、“0(偽)” いずれかのラベルを付ける。具体的には図 3 に示すように、適当な  $\alpha$  を与え、これと比較することにより  $P_i \geq \alpha$  かつ  $N_i \geq \alpha$  の場合はラベル “1” を、 $P_i \geq \alpha$  かつ  $N_i < \alpha$  の場合はラベル “?” を、 $P_i < \alpha$  かつ  $N_i < \alpha$  の場合はラベル “0” をつける。

#### 3.3.2 評価点のグループ分け

“1” または “?” にラベル付けされた全ての評価点  $\tilde{q}_i$  を、ラベル “0” で区分されるグループ  $G_j$  に分ける。ラベル “0” の評価点は停止しているといえない点であるので、ここで区切るにより、 $G_j$  は分割点または分割候補点の存在する範囲を示すことになる。次に、図 3 が示すようにラベル “1” の  $\tilde{q}_i$  を含む  $G_j$  にはラベル “1” を付け、グループ中全ての  $\tilde{q}_i$  がラベル “?” の  $G_j$  にはラベル “?” を付ける。

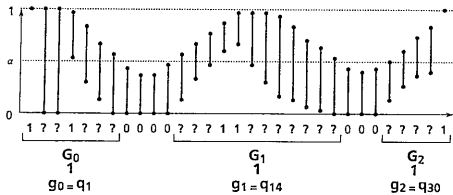
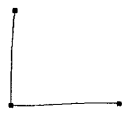


図 4: 2つのセグメントを意図して入力した曲線の分割点・分割候補点

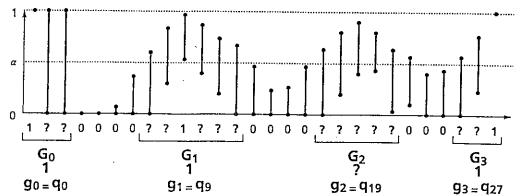


図 5: 3つのセグメントを意図して入力した曲線の分割点・分割候補点

### 3.3.3 分割点のファジィ抽出

それぞれのグループ  $G_j$  から代表点を選び、分割点または分割候補点  $\tilde{g}_j$  とする。 $G_j$  のラベルが“1”の場合は、 $G_j$  中のラベル“1”の存在範囲の中点を分割点とし、 $G_j$  のラベルが“?”の場合には  $G_j$  中のラベル“?”の存在範囲の中点を分割候補点とする。このとき、それぞれの代表点  $\tilde{g}_j$  はもとのグループのラベルを受け継ぐように定める。ここで、ラベル“1”の分割点はストロークの区切れとして決定的に採用されるが、ラベル“?”の分割候補点は、入力された曲線情報だけではストロークの区切れであるかどうか確定できないことを示すことになる。すなわち、この手法により、分割点はシステム側で確定するが、分割点かどうか確定できない点については確定せず、分割点かどうかわからない点であることを示して書き手の意図を問いつつ、柔軟な分割点の抽出が可能となる。

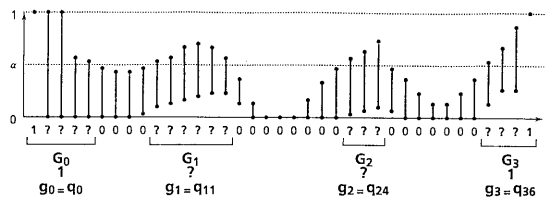
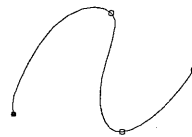


図 6: 1つのセグメントを意図して入力した曲線の分割点・分割候補点

## 4 実験例

本論文で提案したファジィ・スプライン補間法を用いて表現した手書き入力線図形に対して、ファジィ・セグメンテーション手法を用いてセグメンテーションを行い、分割点および分割候補点を抽出した実験例を示す。分割点は“●”、分割候補点は“○”で提示した。

### 4.1 分割点のファジィ抽出例

図 4 から図 6 に、停止判定時間を  $3t_u$  とした場合の分割点および分割候補点の抽出例を示す。

図 4 のように 2 つのセグメントを意図してセグメントの区切りをはっきりと区切って書いた場合には、分割候補点は現れず分割点のみが抽出された。また、図 5 のように分割候補点があったのは、3 つのセグメントを意図したが、セグメントの区切りが曖昧になってしまったためである。ここで分割候補点が角と少しずれた位置に現れているが、もともとここは書かれ方自体が曖昧な部分であり、停止していると思われる点がこの辺りに存在するという意味を示しているものであるから、このずれは本質的な問題とはならない。

一方、図 6 をみると、セグメントを切りやとしていない

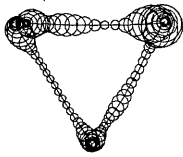
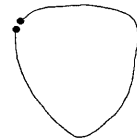


図 7: 丁寧に書かれた三角形



図 8: 丁寧に書かれた自由曲線



のにもかかわらず分割候補点が現れているが、これは停留している状態を表していることになる。このような部分では書き方がゆっくりとなって動きが停滞しているため、意図に反して分割候補点が現れることがあるが、確定的な分割点は現れない。このように分割候補点が現れるのは、書き手の動作を自然に反映した結果といえる。

また、この実験結果では入力線図形の端点に適当な分割点が得られているが、これは、開始点、終了点の区間真理値  $[N_i, P_i]$  を  $[1, 1]$  とし、 $\bar{q}_1$  から  $\bar{q}_{k-1}$  の間の区間真理値を  $[0, 1]$  としたこれらの設定が適切であることを示している。例えば、もしも図 6 において、 $\bar{q}_1$  から  $\bar{q}_{k-1}$  の間の区間真理値を  $[0, 0]$  にしてしまえば、始点から近い部分にもう一つ余分な分割点が現れることになり、 $[1, 1]$  にしてしまえば必ず始点よりもの後ろにずれたところに分割点があらわれることになってしまう。

#### 4.2 書き方による分割意図の表現例

図 7 から図 9 に、入力した曲線サンプルのセグメンテーション例を示す。

図 7 のようにセグメントの区切れをはっきりと区切って丁寧に書いた曲線では、意図どおりにストロークの切れ目として分割点が検出された。また、図 8 のように、連続的に注意深く区切れのないように書いた曲線でも、意図どおりの始点と終点が明確に現れている。一方、似たような形状であっても図 9 のようにセグメントの区切れを適当に書いた曲線では入力時の曖昧さが反映されて分割候補点が現れている。これらの結果から、線図形の入力時の書き方の丁寧さに応じて、ストロークの切れ目が分割点あるいは分割候補点としての確に検出されることがわかる。

このように書き手の意図表現に応じて柔軟に分割点、あるいは分割候補点が検出されるため、その結果として線分・円・楕円などの基本曲線に対応するであろうセグメントへの分割が効率的に行えることになる。

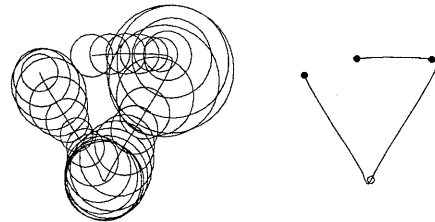


図 9: 適当に書かれた三角形

## 5 むすび

通常のスプライン補間法をファジイ理論の拡張原理に基づいて拡張することにより、ファジイ・スプライン補間法を提案し、曖昧な位置情報を持つオンライン手書き入力曲線の表現方法を構築した。

次に、ファジイ・スプライン補間法の一応用としてファジイ・セグメンテーション手法を提案し、書き手の意図がはっきりしたセグメントの区切れは確定的な分割点として、あいまいな部分は分割候補点として認識するシステムを構築した。これにより、書き方の丁寧さに応じて、はっきりと区切ることができる点はシステム側が断定的に自動分割し、そうでない曖昧な点は書き手の意図を問い返すような柔軟なインターフェースを実現することが可能となった。また、ファジイ・セグメンテーション手法は、文献 [7] のオンライン手書き曲線のファジイ同定法などの手法の前処理として活用することが可能である。

## 参考文献

- [1] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility," Fuzzy Sets and Systems, Vol.1, No.1, 3-28, 1978.
- [2] 水本雅晴, "ファジイ理論とその応用," サイエンス

社,1988.

- [3] G. Farin, "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design, A practical Guide," Academic Press, Inc.,1988.
- [4] 向殿, 菊池, "ファジイ・インターバル論理の提案," 日本ファジイ学会誌, Vol.2, No2, 209-222, 1990.
- [5] 佐賀, 牧野, "オンライン手書き曲線認識のためのファジイ・スプライン補間法," 電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 256, 298-299, 1992.
- [6] 牧野, 佐賀, "ファジイ・スプライン補間法を用いたオンライン手書き曲線のファジイ・セグメンテーション," 電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 257, 300-301, 1992.
- [7] 佐賀, 牧野, "ファジイ・スプライン補間法を用いたオンライン手書き曲線のファジイ認識," 電気関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 258, 302-303, 1992.